

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2937817号

(45) 発行日 平成11年(1999) 8月23日

(24) 登録日 平成11年(1999) 6月11日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/316

H 0 1 L 21/316

U

S

29/78

29/78

3 0 1 G

請求項の数12(全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平7-196726

(22) 出願日 平成7年(1995) 8月1日

(65) 公開番号 特開平9-45679

(43) 公開日 平成9年(1997) 2月14日

審査請求日 平成10年(1998) 12月3日

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000005843

松下電子工業株式会社

大阪府高槻市幸町1番1号

(72) 発明者 小林 光

京都府京都市東山区本町9丁目106番地

(72) 発明者 米田 健司

大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内

(72) 発明者 名村 高

大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 池内 寛幸 (外1名)

審査官 今井 拓也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体基板表面の酸化膜の形成方法及びMOS半導体デバイスの製造方法

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板表面に酸化膜を形成するに際し、

半導体基板上に厚さ0.1～1.5nmの範囲の第1酸化膜を形成し、

次いで前記第1酸化膜上に酸化触媒機能を有する金属薄膜を厚さ1～30nmの範囲で形成し、

しかる後600℃以下の温度でかつ酸化雰囲気中で熱処理を行って、前記金属薄膜の下に第2酸化膜を形成することを特徴とする半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

【請求項2】 半導体基板上に第1の酸化膜を形成する方法が、半導体基板を下記A～Jから選ばれる少なくとも一つの液体中に浸漬することにより形成する請求項1に記載の半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

A. 熱濃硝酸

2

B. 濃硫酸及び過酸化水素水の加熱溶液

C. 塩酸及び過酸化水素水の加熱溶液

D. 過酸化水素水

E. オゾン溶解水

F. 硝酸及び硫酸の加熱液

G. 弗化水素酸

H. 酸化雰囲気中に放置することにより形成される自然酸化膜

I. 沸騰水

J. アンモニア水及び過酸化水素水の加熱溶液

【請求項3】 半導体基板上に酸化膜を形成する方法が、半導体基板をオゾンガス中に暴露させるか、またはオゾンガス中で紫外線を照射しながら暴露させることにより形成する請求項1に記載の半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

【請求項4】 酸化触媒機能をもつ金属薄膜が、白金またはパラジウムである請求項1に記載の半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

【請求項5】 酸化触媒機能をもつ金属薄膜が蒸着法により形成されている請求項1に記載の半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

【請求項6】 酸化雰囲気中で熱処理を行うに際し、酸化雰囲気下記a～gから選ばれる少なくとも一つの雰囲気である請求項1に記載の半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

- a. 乾燥酸素雰囲気
- b. 乾燥酸素と非酸化性ガスとの混合ガス雰囲気
- c. 水蒸気を含んだ酸素雰囲気
- d. 水蒸気を含んだ酸素と非酸化性ガスとの混合ガス雰囲気
- e. オゾンガス雰囲気またはオゾンガスを含む雰囲気
- f.  $N_2O$ を含んだ酸素雰囲気中
- g.  $NO$ を含んだ酸素雰囲気中

【請求項7】 酸化雰囲気中で熱処理温度が、25～600℃の範囲である請求項1に記載の半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

【請求項8】 半導体基板が、単結晶シリコン、多結晶シリコン、非晶質シリコン、砒化ガリウム及びリン化インジウムから選ばれる少なくとも一つの材料である請求項1に記載の半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

【請求項9】 半導体基板表面に酸化膜を形成する前に、あらかじめ半導体基板表面に存在する自然酸化膜及び／または不純物を除去する請求項1に記載の半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

【請求項10】 第2酸化膜の膜厚が、第1酸化膜の膜厚より厚く、かつ1～20nmの範囲である請求項1に記載の半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

【請求項11】 酸化雰囲気中で熱処理を、半導体基板表面に金属配線を形成した後に行う請求項1に記載の半導体基板表面の酸化膜の形成方法。

【請求項12】 半導体基板表面にMOS (metal oxide semiconductor) デバイスの酸化膜を形成するに際し、半導体基板上に厚さが0.1～1.5nmの範囲の第1酸化膜を形成し、

次いで前記第1酸化膜上に酸化触媒機能を有する金属薄膜を厚さ1～30nmの範囲で形成し、

その後600℃以下の温度でかつ酸化雰囲気中で熱処理を行って、前記金属薄膜の下に第2酸化膜を形成し、その後前記金属薄膜の上に電極を形成することを特徴とするMOS半導体デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体集積回路などに用いられる金属—酸化膜—半導体デバイス、すなわちMOS (metal oxide semiconductor) デバイス、とり

わけMOSトランジスタおよびMOS容量の極薄ゲート酸化膜および容量酸化膜等に応用が可能な半導体基板表面の酸化膜の形成方法及びMOS半導体デバイスの製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 半導体デバイス、とりわけMOSトランジスタ、MOS容量のゲート酸化膜および容量酸化膜には通常シリコンデバイスの場合、二酸化シリコン膜（以下、酸化膜と呼ぶ）が用いられる。これらの、酸化膜には高い絶縁破壊耐圧、高い絶縁破壊電荷量が要求される。そのため、ウェーハの洗浄は非常に重要な工程の一つである。ウェーハは洗浄されると同時に、低い固定電荷密度、低い界面準位密度など高品質が要求される。一方、デバイスの微細化、高集積化に伴い、ゲート酸化膜や容量酸化膜厚は薄膜化しており、たとえば、0.1μm以下のデザインルールでは4nm以下の極薄ゲート酸化膜が要求される。従来、MOSトランジスタのゲート酸化膜は600℃以上の高温で、半導体基板を乾燥酸素や水蒸気などの酸化性雰囲気中に暴露することで形成する方法が用いられてきた（たとえばVLSIテクノロジー (VLSI Technology), S. M. Sze編集、1984年、131～168ページ参照）。

【0003】 また、熱酸化以外にはモノシランを熱分解させ、基板表面に堆積させる化学的気相成長法なども用いられる。また、低温で酸化膜を成長させる方法としては、酸化性の強い、硝酸などの薬液中に半導体基板を浸漬し、化学的な酸化膜を形成する方法や、陽極酸化により酸化膜を形成する方法があるが、化学的酸化膜は成長できる膜厚範囲が限られ、一定以上の膜厚の酸化膜を成長できないという問題点があり、また陽極酸化では比較的膜厚の制御範囲は広いものの、界面特性や絶縁破壊特性などの電気特性は十分ではない。このほかにも、低温で酸化膜を形成する方法としては紫外線照射をしながら熱酸化を行う方法や、プラズマ中で酸化する方法があるがいずれの方法も、薄い高品質の酸化膜を制御性よく、かつ再現性よく形成するのは困難な状況である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、従来の比較的高温での熱酸化では、4nm以下の酸化膜の形成時に膜厚の制御性に欠けるという問題があった。また、膜厚の制御性を向上させるために低温での酸化を行うと、形成された酸化膜の膜質の点で、界面準位密度が高いこと、及び固定電荷密度が高いことなどの問題があった。また、化学的気相成長法により堆積した酸化膜も膜厚制御性及び膜質の点で同様の問題をかかえている。特に、界面準位密度の発生はトランジスタのホットキャリア特性を劣化させるのみならず、トランジスタのしきい値電圧の不安定性、キャリアの移動度の低下など、特に微細デバイスでは致命的な問題を引き起こす。さらに、素子の微細化により熱処理工程の低減化も要求されており、特

にデバイスの設計自由度およびプロセスの自由度という点では従来の比較的高温の熱酸化膜によりゲート酸化膜を形成する方法では、必ず金属配線工程より以前にゲート酸化膜を形成する必要があった。これまで、金属配線には低抵抗を実現するためアルミニウムもしくはアルミニウム合金が用いられており、アルミニウム合金の融点は660℃程度と低く、さらにヒロック（熱処理により発生するアルミニウム配線表面の異常突出）などの発生を考えると金属配線後の熱処理は400℃以下に抑える必要がある。このため、従来の熱酸化法を用いた場合、金属配線工程以後にはゲート酸化膜の形成は困難であった。また、熱酸化膜形成において400℃以下の温度においては酸化膜厚は1時間程度の熱処理によっても1nm以下であり、ゲート酸化膜として利用できる膜厚を形成することは困難であった。

【0005】本発明は、前記従来の酸化膜形成方法の問題を解決するため、高温加熱を用いずに半導体基板の表面に高品質の酸化膜を制御性よく形成するとともに、金属配線以後にゲート酸化膜を形成できる半導体基板表面の酸化膜の形成方法及びMOS半導体デバイスの製造方法を提供することを目的とする。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、本発明の半導体基板表面の酸化膜の形成方法は、半導体基板表面に酸化膜を形成するに際し、半導体基板上に厚さ0.1～1.5nmの範囲の第1酸化膜を形成し、次いで前記第1酸化膜上に酸化触媒機能を有する金属薄膜を厚さ1～30nmの範囲で形成し、しかる後600℃以下の温度でかつ酸化雰囲気中で熱処理を行って、前記金属薄膜の下に第2酸化膜を形成することを特徴とする。

【0007】次に本発明のMOS半導体デバイスの製造方法は、半導体基板表面にMOS (metal oxide semiconductor) デバイスの酸化膜を形成するに際し、半導体基板上に厚さが0.1～1.5nmの範囲の第1酸化膜を形成し、次いで前記第1酸化膜上に酸化触媒機能を有する金属薄膜を厚さ1～30nmの範囲で形成し、その後600℃以下の温度でかつ酸化雰囲気中で熱処理を行って、前記金属薄膜の下に第2酸化膜を形成し、その後前記金属薄膜の上に電極を形成することを特徴とする。

【0008】前記方法においては、半導体基板上に第1の酸化膜を形成する方法が、半導体基板を下記A～Jから選ばれる少なくとも一つの液体中に浸漬することにより形成することが好ましい。

- A. 熱濃硝酸
- B. 濃硫酸及び過酸化水素水の加熱溶液
- C. 塩酸及び過酸化水素水の加熱溶液
- D. 過酸化水素水
- E. オゾン溶解水
- F. 硝酸及び硫酸の加熱液

G. 弗化水素酸

H. 酸化雰囲気中に放置することにより形成される自然酸化膜

I. 沸騰水

J. アンモニア水及び過酸化水素水の加熱溶液

前記A～Fの液体であれば、例えばシリコンなどの半導体基板を酸化するのに適しているからである。

【0009】また前記方法においては、半導体基板上に酸化膜を形成する方法が、半導体基板をオゾンガス中に暴露させるか、またはオゾンガス中で紫外線を照射しながら暴露させることにより形成してもよい。気相で酸化膜を形成すると塵等のコンタミが付着しないという利点がある。

【0010】また前記半導体及びその酸化膜の形成方法においては、酸化触媒機能をもつ金属薄膜が、白金またはパラジウムであることが好ましい。この触媒は低温で酸化する機能に優れているからである。

【0011】また前記半導体及びその酸化膜の形成方法においては、酸化触媒機能をもつ金属薄膜を蒸着法により形成することが好ましい。膜厚が薄くかつ均一に形成できるからである。

【0012】また前記方法においては、酸化雰囲気中で熱処理を行うに際し、酸化雰囲気が下記a～gから選ばれる少なくとも一つの雰囲気であることが好ましい。

- a. 乾燥酸素雰囲気
- b. 乾燥酸素と非酸化性ガスとの混合ガス雰囲気
- c. 水蒸気を含んだ酸素雰囲気
- d. 水蒸気を含んだ酸素と非酸化性ガスとの混合ガス雰囲気
- e. オゾンガス雰囲気またはオゾンガスを含む雰囲気
- f. N<sub>2</sub>Oを含んだ酸素雰囲気中
- g. NOを含んだ酸素雰囲気中

この酸化処理により第2酸化膜を効率よく合理的に形成できる。

【0013】また前記方法においては、酸化雰囲気中での熱処理温度が、25～600℃の範囲であることが好ましい。低温酸化処理することにより本発明の目的を達成できるからである。

【0014】また前記半導体及びその酸化膜の形成方法においては、半導体基板が、単結晶シリコン、多結晶シリコン、非晶質シリコン、砒化ガリウム及びリン化インジウムから選ばれる少なくとも一つの材料であることが好ましい。半導体基板として応用範囲が広いからである。

【0015】また前記方法においては、半導体基板表面に酸化膜を形成する前に、あらかじめ半導体基板表面に存在する自然酸化膜及び／または不純物を除去することが好ましい。シリコン表面に高品質な極薄酸化膜を形成するために、あらかじめ清浄なシリコン表面にしておくためである。

【0016】また前記方法においては、第2酸化膜の膜厚が、第1酸化膜の膜厚より厚く、かつ1~20nmの範囲であることが好ましい。最終的に得られる酸化膜の厚さが前記の範囲であれば、MOSトランジスタ、MOS容量の極薄ゲート酸化膜及び容量酸化膜等に有用だからである。

【0017】また前記方法においては、酸化雰囲気中での熱処理を、半導体基板表面に金属配線を形成した後に行うこともできる。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】前記した本発明の半導体によれば、半導体基板表面に酸化膜と金属薄膜とを少なくとも含む半導体であって、前記金属薄膜は厚さ1~30nmの範囲の酸化触媒機能を有する金属であり、かつ前記酸化膜は前記酸化触媒機能を有する金属によって形成された膜を含む厚さ1~20nmの範囲の膜であることにより、高温加熱を用いずに半導体基板の表面に高品質の酸化膜を制御性よく形成するとともに、金属配線以後にゲート酸化膜を形成できる半導体を実現できる。

【0019】次に本発明の半導体基板表面の酸化膜の製造方法によれば、半導体基板上に厚さ0.1~1.5nmの範囲の第1酸化膜を形成し、次いで前記第1酸化膜上に酸化触媒機能を有する金属薄膜を厚さ1~30nmの範囲で形成し、しかる後600℃以下の温度でかつ酸化雰囲気中で熱処理を行って第2酸化膜を形成することにより、効率よくかつ合理的に半導体基板上に薄くかつ均一な品位の酸化膜を高品質かつ高制御性で形成することができる。

【0020】本発明の方法による酸化膜の形成方法では、清浄な半導体基板上に、薄い均質な酸化膜を形成した後、酸化触媒となる金属薄膜を形成させることにより、金属薄膜直下の半導体基板を室温(25℃)から600℃の低温で酸化することができる。このとき形成された酸化膜は膜厚制御性が高く1~20nm程度の薄い酸化膜を容易に形成することができる。また、このようにして形成された酸化膜は界面特性のすぐれたものが得られ界面準位密度の低い高品質の酸化膜が形成できる。このとき形成する酸化膜の膜質は、半導体基板上にまずはじめに形成する薄い酸化膜の形成方法により変えることができ、また酸化速度は熱処理する温度と、酸化性雰囲気の種類により変化させることができる。本発明のさらに好ましい条件においては、半導体基板を室温(25℃)~400℃の範囲の温度で酸化することができる。

#### 【0021】

【実施例】以下、実施例を用いて本発明をさらに具体的に説明する。まず、本発明により酸化膜を形成する実施例を図1を用いて説明する。本実施例では半導体基板としてシリコン基板を例にとって、MOS容量を形成する工程を説明する。まず、シリコン基板1上に分離領域2と活性領域4を形成した。活性領域4の表面には自然酸

化膜9が存在している(図1(a))。シリコン基板としてp型(100)、10~15Ωcmの基板を用い、ボロンのチャネルストッパーを注入後、分離領域2としてLOCOS(local oxidation of silicon)酸化膜を500nmの膜厚で形成した。

【0022】次に、活性領域4の表面を洗浄するため、公知のRCA洗浄(W.Kern, D.A.Plutien:RCA レビュー 31, 187ページ, 1970年)方法によりウェーハを洗浄した後、希HF溶液(0.5vol.%HF水溶液)に5分間浸漬し、シリコン表面の自然酸化膜9を除去した(図1(b))。シリコン表面に高品質な極薄酸化膜を形成するためには、清浄なシリコン表面3が必要であり、シリコン表面の自然酸化膜9の完全除去及びシリコン表面の不純物除去が重要である。

【0023】次に超純水でウェーハを5分間リンス(洗浄)した後、ウェーハを115℃の熱硝酸に10分間浸漬し、シリコン基板に表面厚さ1.1nmの化学的酸化膜(第1酸化膜)5を形成した(図1(c))。本実施例においては、半導体基板の洗浄、自然酸化膜の除去後、化学処理や低温の熱処理により半導体表面に薄い酸化膜5を形成した。半導体表面の化学処理方法としては本実施例のような熱濃硝酸に浸漬する方法のほか、硫酸と過酸化水素水の混合溶液に浸漬する方法、塩酸と過酸化水素水の混合溶液に浸漬する方法、アンモニア水と過酸化水素水の混合溶液に浸漬する方法、オゾンを経過させたオゾン水に浸漬する方法などが挙げられる。本実施例では熱濃硝酸により重金属などを含まない清浄かつ高品質な化学酸化膜を形成した。また、この他に、オゾンガス雰囲気中にウェーハを暴露しながら、400℃から室温で熱処理する方法や、紫外線を照射しながらオゾンガス雰囲気中にウェーハを暴露する方法などがある。

【0024】前記で説明した自然酸化膜9の除去は、この後形成させる第1酸化膜5の特性上、重要な役割をもっており、清浄でかつ均質な酸化膜形成が要求される。表面の重金属および自然酸化膜の除去の後、さらにオゾンガスの導入によりウェーハ表面に超清浄な薄い表面保護酸化膜を形成することができ、超清浄なウェーハ表面を得ることができる。

【0025】次に、シリコン基板上の第1酸化膜5上に、酸化触媒機能をもつ金属膜として、電子ビーム蒸着法により、約3nmの厚さの白金6を蒸着した(図1(d))。この際、白金には99.99%の純度のものを用いた。蒸着速度は0.3nm/分、蒸着中のシリコン基板の温度は50℃とし、圧力は $1 \times 10^{-4}$ Paとした。

【0026】その後、電気炉で加湿酸素中で300℃で1時間処理した。この加熱処理によりシリコン酸化膜7が厚さ4.5nmに成長した(図1(e))。このとき、シリコン基板1上には厚さ4.5nmの酸化膜7

と、厚さ3 nmの白金6が形成されている。なお、酸化触媒機能をもつ金属膜としては白金のほかにはパラジウムを用いてもよい。酸化膜7はゲート酸化膜としても利用できる。

【0027】次に電極を形成するため、スパッタ法によりアルミニウム8を1  $\mu$ m堆積し(図1(f))、公知のフォトリソグラフィ技術によりゲート電極をパターンニングした後、公知のドライエッチング技術によりアルミニウムおよび白金をエッチングしゲート電極10を形成した(図1(g))。本実施例では、酸化触媒としての白金膜をそのまま電極の一部として使用したが、王水などで白金を除去した後、改めてゲート電極となる導電性膜を形成してもよい。

【0028】図2は、洗浄を行い、自然酸化膜を除去した後にシリコン基板表面を清浄化した後、熱濃硝酸に浸漬した後に観測したX線光電子スペクトルである。X線光電子スペクトルはVG社製ESCALAB 220i-XLを用いて測定した。この際、X線源としては、エネルギーが1487 eVのAlのK $\alpha$ 線を用いた。光電子は表面垂直方向で観測した。ピーク(1)は、シリコン酸化膜のSiの2p軌道からの光電子によるものであり、ピーク(2)はシリコン酸化膜のSiの2p軌道からの光電子によるものである。ピーク(2)とピーク(1)の面積強度の比から、シリコン酸化膜の膜厚は1.1 nmと計算できた。ここで、Siの2p軌道からの光電子のシリコン酸化膜中での平均自由行程として2.5 nm、シリコン基板中の平均自由行程として2.3 nmを用いた。(R. FLITSCHAND, S. I. Raider, ジャーナル オブ ザ バキュームサイエンス アンド テクノロジー(J. Vac. Sci. Technol.) 12巻(1975年)、305ページ参照)。

【0029】図3は、濃硝酸でシリコン酸化膜形成後、その試料を電気炉に導入し、加湿酸素中で300℃、1時間加熱し、その後測定したX線光電子スペクトルである。ピーク(2)とピーク(1)の面積強度比は図2のものほとんど変わらず、シリコン酸化膜厚は300℃の酸化性雰囲気中での加熱処理により変化しないことがわかる。このことは、通常の熱酸化法では300℃という低温ではシリコン酸化膜をMOSトランジスタのゲート酸化膜として少なくとも必要な2~6 nmの膜厚には成長させることが全くできないということを示している。

【0030】図4は、熱濃硝酸でシリコン酸化薄膜を形成し、その上に約3 nmの白金膜を電子ビーム蒸着し、さらにその試料を電気炉に導入し、加湿酸素中で300℃、1時間加熱し、その後、測定したX線光電子スペクトルである。X線光電子スペクトルは島津製作所製ESCA1000を用いて測定した。この際、X線源としてエネルギー1254 eVのMgのK $\alpha$ 線を用いた。シリ

コン酸化膜のピーク強度(2)が増加し、シリコン酸化膜が成長したことがわかる。図4中のピーク(2)とピーク(1)の面積強度比より、シリコン酸化膜の膜厚は4.5 nmと計算される。すなわち、白金薄膜がシリコン酸化薄膜上に存在すれば、300℃程度の低温加熱によりシリコン酸化膜が成長することが確認できた。

【0031】図5は、シリコン酸化膜の膜厚を加熱温度に対して、プロットしたものである。プロット(a)では、シリコンウェーハを熱濃硝酸に浸漬させることにより、シリコン酸化膜を形成し、その後試料を電気炉に導入し、加湿酸素雰囲気中種々の温度で1時間加熱した後、測定したX線光電子スペクトルの面積強度比より求めた酸化膜厚である。プロット(b)では、シリコンウェーハを熱濃硝酸に浸漬することによりシリコン酸化膜を形成し、その上に電子ビーム蒸着法により約3 nmの白金膜を蒸着し、その後試料を電気炉に導入し加湿酸素中種々の温度で1時間加熱した。シリコン酸化膜の膜厚は、Siの2p領域のX線光電子スペクトルから見積もった。プロット(a)から、シリコン酸化膜上に白金膜厚が存在しない場合、300℃以下の低温の加熱処理によってシリコン酸化膜の膜厚が実験誤差範囲内で変化しないことがわかる。一方、プロット(b)から、シリコン酸化膜上に白金薄膜が存在すれば、低温の加熱処理によりシリコン酸化膜が成長することがわかる。

【0032】図6は本実施例により形成した白金3 nm/酸化膜2.6 nm/Si基板構造の界面準位密度のエネルギー分布を示したものである。ここで測定しているような2.6 nmの極薄酸化膜を持つMOSデバイスの界面準位のエネルギー分布は、従来から用いられている電気容量-電圧測定(C-V)やコンダクタンス-電圧測定(G-V)などの電氣的測定から求めることができないので、バイアス電圧印加時のX線光電子スペクトル測定という方法を用いた(H. KOBAYASHI, Y. YAMASHITA, T. MORI, Y. NAKATO, K. H. PARK, Y. NISHIOKA, サーフェサイエンス(Surf. Sci.) 326巻、(1995年)、124ページ、H. KOGAYASHI, T. MORI, K. NAMBA, Y. NAKATO, ソリッド ステイト コミュニケーション(Solid State Commun.) 92巻、(1994年)、29ページ参照)。

【0033】なお、前記本実施例の酸化処理においては熱濃硝酸による化学酸化膜(1.1 nm)形成後は熱処理を行っていない。このときの界面準位はミッドギャップをはさんで分布しており、Siのダングリングボントが酸化膜中のSiおよび酸素原子と弱い相互作用を起こしているものと考えられる。本実施例により形成した酸化膜の界面準位密度は550℃で形成した3 nmの酸化膜や700℃のウェット酸化で形成した酸化膜よりも低いレベルになっている。このことは、本実施例の方法で形成した酸化膜がゲート酸化膜として十分な界面特性を有していることを示している。したがって、本実施例の

方法により形成した薄い酸化膜はMOSトランジスタやMOS容量の極薄ゲート酸化膜として有用である。本発明による方法により形成した酸化膜はトランジスタのゲート酸化膜として適用可能であるのは勿論のこと、他にもさまざまな用途に適用可能である。

【0034】図7はダイナミックランダムアクセスメモリー(DRAM)のスタックトキャパシタによるセル容量への本発明の適用例を示したものである。通常、ストレージノード18と呼ばれる容量電極は燐などの導電性不純物を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3 (\text{atom})$ 程度含んだ非晶質シリコンで形成されている。これらのストレージノード上に例えば熱酸化膜を形成する場合、熱処理により非晶質シリコン膜のグレインが成長しそれに伴うストレスの発生により、ストレージノード上に形成する容量絶縁膜の絶縁破壊特性が劣化するという問題点があったが、本発明の如き $400^\circ\text{C}$ 以下の低温による酸化膜成長では非晶質シリコンのグレイン成長は起こらず、かつ厚さ $2 \sim 4 \text{ nm}$ の極薄容量酸化膜19を制御性よく形成することができる。この場合、セル容量の構造は、非晶質ストレージノード18/本発明による低温酸化膜19/白金薄膜20/非晶質セルプレート21となる。ここで白金薄膜20が存在することによりセルプレートの空乏化を防止することができ、セル容量の確保もできる。この他、多結晶シリコンや非晶質シリコン上に本発明の方法により酸化膜を形成することにより、これらの導電膜に挟まれた構造の容量を実現することができる。なお、図7において、11はp型シリコン基板、12はp型ウェル領域、13は分離領域、14は選択トランジスタ(ポリサイドゲート)、14'は多結晶シリコン膜、14''はタングステンシリサイド( $\text{WSi}_x$ )膜、15はビート線(ポリサイド)、15'は多結晶シリコン膜、15''はタングステンシリサイド( $\text{WSi}_x$ )膜、16はソースドレイン $n^+$ 拡散層、17は層間絶縁膜である。

【0035】また、図8は本発明の方法で形成した酸化膜をMOSトランジスタに適用した場合の実施例である。P型基板上に素子分離形成後、活性領域にしきい値電圧制御としてボロンを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 (\text{atom})$ の濃度が得られるようにイオン注入した後、ウェーハ表面を洗浄し、さらに無水 $\text{HF}$ ガスにより約10秒間自然酸化膜のエッチング(除去)を行った後、つづいてオゾンガス中に暴露しシリコン表面に厚さ $1 \text{ nm}$ の酸化膜を形成した。その後、スパッタ法により白金34を厚さ $3 \text{ nm}$ に堆積し、 $100^\circ\text{C}$ 、加湿酸素雰囲気中で1時間熱処理を行い、膜厚 $2.2 \text{ nm}$ のゲート酸化膜33を形成した。その後ポリシリコン膜35を公知の減圧気相成長法により $530^\circ\text{C}$ で $100 \text{ nm}$ 形成した。このときの堆積膜は非晶質で燐濃度は $3 \times 10^{20} / \text{cm}^3 (\text{atom})$ である。その後、公知のフォトリソグラフィ技術によりゲート電極のパターンニングを行い、公知のドライエッチング技術によりゲート電極の非晶質シリコン35/白金

34/ゲート酸化膜33のエッチングを行った。その後、サイドウォール36として燐ドーパドオキサイド膜を堆積した。さらにサイドウォールエッチングを行った後に、ソースドレイン38をイオン注入により形成した。この他にも、金属配線工程後にMOSトランジスタを形成することも、本発明の如き低温酸化法を用いることにより可能となる。なお、図8において、31はp型シリコン基板、32はp型ウェル領域、37はソースドレイン $\text{LDD}$ 拡散層、38はソースドレイン $n^+$ 拡散層である。

【0036】以上説明した通り本発明の前記実施例においては、半導体基板を室温( $25^\circ\text{C}$ ) $\sim 400^\circ\text{C}$ の範囲の温度で酸化処理できることが確認できた。

#### 【0037】

【発明の効果】以上説明した通り本発明の半導体によれば、半導体基板表面に酸化膜と金属薄膜とを少なくとも含む半導体であって、前記金属薄膜は厚さ $1 \sim 30 \text{ nm}$ の範囲の酸化触媒機能を有する金属であり、かつ前記酸化膜は前記酸化触媒機能を有する金属によって形成された膜を含む厚さ $1 \sim 20 \text{ nm}$ の範囲の膜であることにより、高温加熱を用いずに半導体基板の表面に高品質の酸化膜を制御性よく形成するとともに、金属配線以後にゲート酸化膜を形成できる半導体を実現できる。

【0038】次に本発明の半導体基板表面の酸化膜の製造方法によれば、半導体基板上に厚さ $0.1 \sim 1.5 \text{ nm}$ の範囲の第1酸化膜を形成し、次いで前記第1酸化膜上に酸化触媒機能を有する金属薄膜を厚さ $1 \sim 30 \text{ nm}$ の範囲で形成し、しかる後 $600^\circ\text{C}$ 以下の温度でかつ酸化雰囲気中で熱処理を行って第2酸化膜を形成することにより、効率よくかつ合理的に半導体基板上に薄かつ均一な品位の酸化膜を高品質かつ高制御性で形成することができる。

【0039】また本発明のさらに好ましい酸化膜の形成方法によれば、半導体基板を $600^\circ\text{C}$ 以上の高温に曝すことなく、室温から $600^\circ\text{C}$ 程度の低温で、界面特性にすぐれた高品質の極薄酸化膜を膜厚制御性よく形成することができ、熱履歴を問題にする事なく高品質の極薄ゲート酸化膜を形成することができる。さらに、本発明の如き酸化膜の形成方法を多結晶シリコン上、非晶質シリコン上に応用することにより、高性能の容量を形成することが可能になる上、低温酸化の特徴を生かして、金属配線工程以後にMOSトランジスタ形成を行うことができプロセス、デバイス設計の自由度の向上および性能を大幅に向上させることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例の半導体基板の酸化方法を用いてMOS容量を形成する場合のプロセス図で、

(a)はシリコン基板上に分離領域と活性領域を形成した工程、(b)はシリコン表面の自然酸化膜を除去した工程、(c)はシリコン基板の表面に化学的酸化膜(第

10

20

30

40

50

1酸化膜)を形成した工程、(d)は酸化触媒機能をもつ金属膜として白金膜を形成した工程、(e)は酸化雰囲気中で加熱処理したシリコン第2酸化膜を形成した工程、(f)は電極膜を形成した工程、(g)はゲート電極を形成した工程を各々示す。

【図2】 同、洗浄を行い、自然酸化膜を除去した後にシリコン基板表面を清浄化した後、熱濃硝酸に浸漬した後に観測したX線光電子スペクトルである。

【図3】 同、濃硝酸でシリコン酸化膜形成後、その試料を電気炉に導入し、加湿酸素中で加熱し、その後測定したX線光電子スペクトルである。

【図4】 同、熱濃硝酸でシリコン酸化薄膜を形成し、その上に白金膜を電子ビーム蒸着し、さらにその試料を電気炉に導入し、加湿酸素中で加熱し、その後測定したX線光電子スペクトルである。

【図5】 本発明の方法により形成した一実施例の酸化膜厚と酸化温度の関係を示す図。

【図6】 本発明の方法により形成した一実施例の酸化膜の界面準位密度分布。

【図7】 本発明の方法により形成した酸化膜のDRA M容量絶縁膜への適用例を示す断面図。

【図8】 本発明の方法により形成した酸化膜のMOSトランジスタへの適用例を示す断面図。

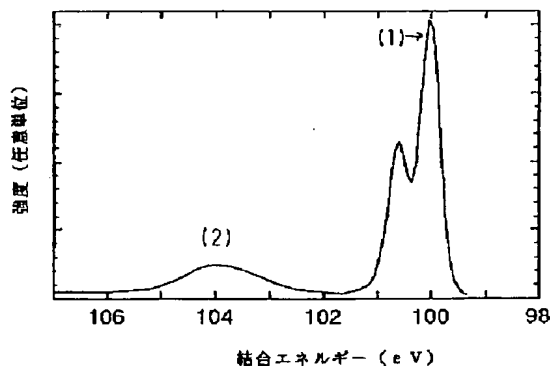
#### 【符号の説明】

- 1 シリコン基板 (半導体基板)
- 2 分離酸化膜
- 3 清浄な半導体表面
- 4 半導体表面の活性領域
- 5 清浄な半導体表面上に成長させた酸化膜 (第1酸化

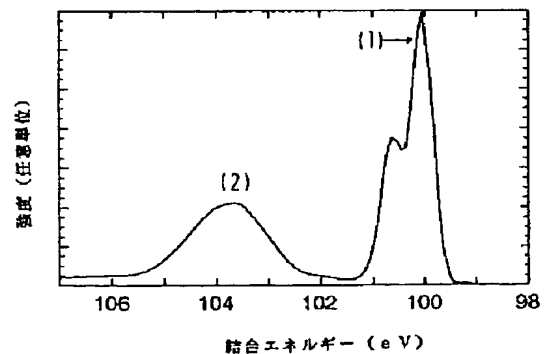
膜)

- 6 白金薄膜
- 7 酸化膜 (第2酸化膜)
- 8 金属堆積膜 (スパッタアルミニウム合金)
- 9 半導体表面の自然酸化膜
- 10 金属ゲート電極
- 11 p型シリコン基板
- 12 p型ウェル領域
- 13 分離領域
- 14 選択トランジス (ポリサイドゲート)
- 14' 多結晶シリコン膜
- 14'' タングステンシリサイド ( $WSi_x$ ) 膜
- 15 ビート線 (ポリサイド)
- 15' 多結晶シリコン膜
- 15'' タングステンシリサイド ( $WSi_x$ ) 膜
- 16 ソースドレイン $n^+$ 拡散層
- 17 層間絶縁膜
- 18 非晶質ストレージノード
- 19 低温酸化膜
- 20 白金薄膜
- 21 非晶質セルプレート
- 31 p型シリコン基板
- 32 p型ウェル領域
- 33 ゲート酸化膜
- 34 白金
- 35 ゲート電極の非晶質シリコン
- 36 サイドウォール
- 37 ソースドレインLDD拡散層
- 38 ソースドレイン $n^+$ 拡散層

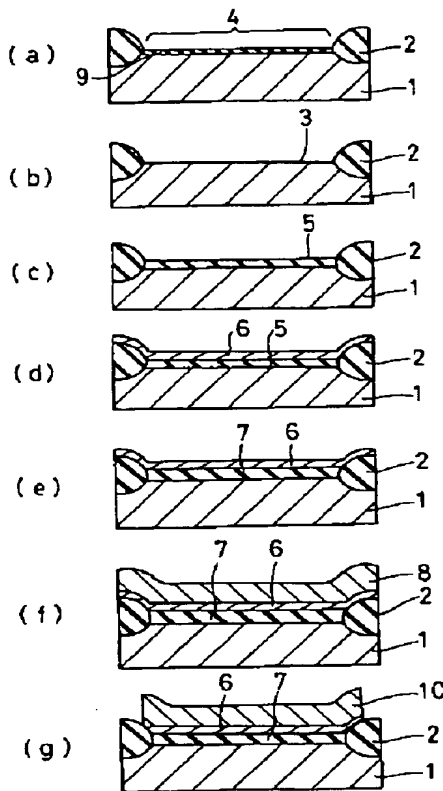
【図2】



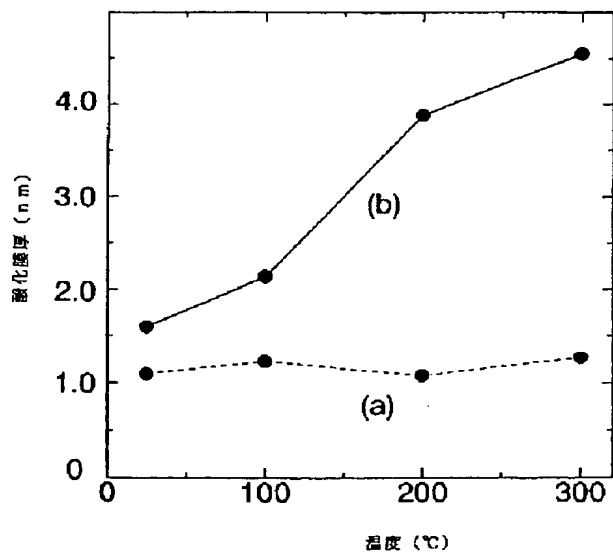
【図3】



【図1】



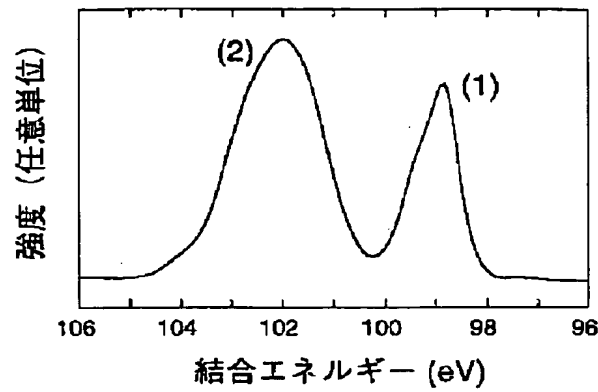
【図5】



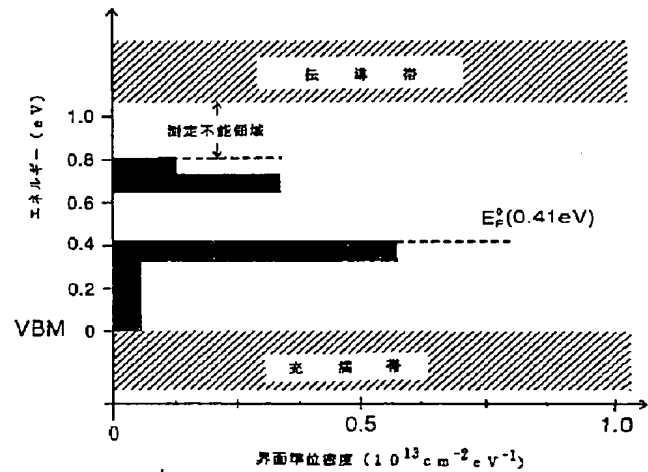
(a) シリコン酸化膜上に白金薄膜が存在しないときの酸化膜の膜厚変化

(b) シリコン酸化膜上に白金薄膜が存在するときの酸化膜の膜厚成長変化

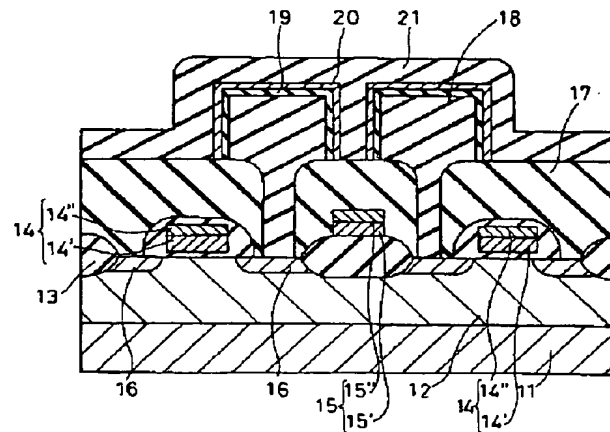
【図4】



【図6】

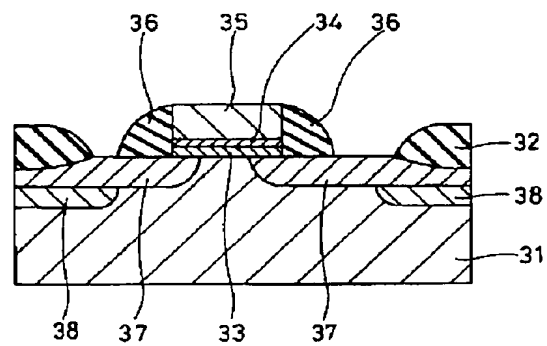


【図7】





【図8】



フロントページの続き

(56) 参考文献 特開 平1-305572 (J P, A)  
特開 平1-264263 (J P, A)  
特開 平6-29521 (J P, A)

(58) 調査した分野(Int. Cl.<sup>6</sup>, D B 名)  
H01L 21/316  
H01L 29/78